

Warum in der Tiefsee bohren?

1 Einleitung

Vor drei Jahrzehnten bahnte sich in den Erdwissenschaften ein Umschwung an, der nur mit der wissenschaftlichen Revolution verglichen werden kann, die Charles Darwin mit seinen Ideen zur Evolution der *Biosphäre* auslöste. Mit den Theorien der Spreizung der Ozeanböden und der Plattentektonik wurde die Evolution der *Lithosphäre* völlig neu durchdacht.

Die Grundlage waren geophysikalische Befunde, vor allem kontinuierliche reflexionsseismische Aufnahmen durch Forschungsschiffe und magnetische Bestimmungen des Polarisierungssinns des ozeanischen Untergrundes an Bord von Schiffen oder Flugzeugen. Sie machten es wahrscheinlich, daß sich an den mittelozeanischen Rücken durch Aufquellen von Magma aus dem Erdmantel ständig neue ozeanische Erdkruste bildet. Diese an der Oberfläche im wesentlichen aus Basalten bestehende Kruste soll sich dabei nach beiden Seiten jährlich um einige Zentimeter auseinanderbewegen, sich also spreizen. Sie kühlt sich dabei ab, wird also schwerer und sinkt ab. Von oben her wird sie im Laufe der Zeit durch Sedimente eingedeckt. Da die Erde

sich nicht ausdehnt, so wurde argumentiert, müßten an sogenannten Subduktionszonen entsprechende Partien der ozeanischen Kruste samt ihrer Sedimente wieder in den Erdmantel hinuntergelangen, verschluckt werden. Spreizung, also Ausdehnung und Verschluckung oder Verkürzung würden sich die Waage halten. Mittelozeanische Rücken wären danach Ränder von Lithosphärenplatten, die auseinanderweichen, divergieren. Subduktionszonen solche, an denen Platten konvergieren (Abbildung 1).

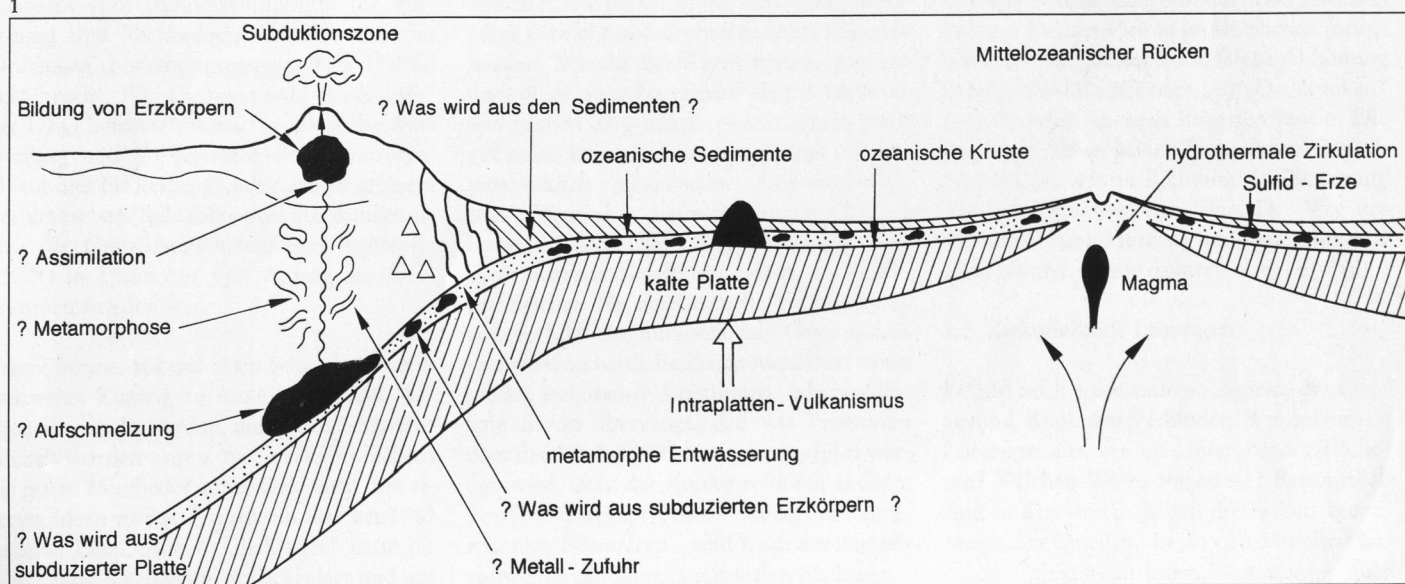
Doch wie ist dies alles zu beweisen? Die Lage der Plattenränder und auch teilweise deren Bewegungsmechanismen konnten im Prinzip vor allem durch die Erdbebenforschung aufgeklärt werden.

2 Ein Projekt und seine Erfolge in der Vergangenheit

Die Richtigkeit der Theorie der Spreizung der Ozeanböden ergab sich erst, nachdem in sie hineingebohrt werden konnte. Schon 1958 wurde dies in den USA ins Auge gefaßt, als man im Pazifischen Ozean die Grenze zwischen der Erdkruste und dem darunterliegenden Erdmantel (die sogenannte

Mohorovičić-Diskontinuität) im „MOHOLE-Projekt“ erbohren wollte. Doch dauerte es noch 10 Jahre, bis 1968 das Tiefseebohrschiff *Glomar Challenger* mit dem Bohrab-

Abb. 1. Schematische Darstellung eines divergierenden (rechts) und eines konvergierenden (links) Randes von Lithosphärenplatten. Aus dem Erdmantel aufsteigendes heißes Magma hebt die mittelozeanischen Rücken heraus und tritt als Basalt am Meeresboden aus. Meerwasser zirkuliert darin, scheidet Erze aus und kühlt das Ganze ab, so daß die Flanken des Rückens absinken. Bei seiner Wanderung nach außen bedeckt er sich mit Sedimenten. Beim Abtauchen der Platte unter den Kontinentalrand (links) wird dieser stark verformt. Die ankommende Fracht gerät unter erhöhte Drucke und Temperaturen. Wasser wird ausgetrieben: Es entstehen metamorphe Gesteine. Erzkörper können dabei aufgeschmolzen werden. In der kontinentalen Kruste wird durch neugebildetes Magma Nebengestein verändert (*Metasomatose*) oder eingeschmolzen (*Assimilation*). Die vielen Fragezeichen bedeuten noch offene Probleme (nach [1], S. 48).



schnitt („Leg“) 1 im Golf von Mexiko einen Siegeszug begann, der die Spreizung bestätigte: Die durch die paläomagnetischen Messungen bestimmten Alter der ozeanischen Kruste konnten durch die folgenden Bohrungen gesichert werden. Die darüberliegenden erbohrten Sedimente aber wurden zur Grundlage für eine neue Wissenschaft, für die *Paläozeanographie*, ja sogar für eine umfassende *Paläogeographie* und -*klimatologie*.

So wie Geländeuntersuchungen die Satellitenbeobachtungen ergänzen müssen und damit zur „Groundtruth“ führen, so müssen auch die geophysikalischen Ergebnisse durch geologische, paläontologische, geochemische und andere Untersuchungen am weichen und mit der Tiefe zunehmend festeren Material abgesichert werden.

Die sich schon nach wenigen Monaten einstellenden spektakulären, ja historischen Erfolge des Deep Sea Drilling Programs (DSDP) hatten zwei Nebenwirkungen, die oft übersehen werden. Sie beruhten zum einen auf einer intensiven Zusammenarbeit aller naturwissenschaftlichen Disziplinen. Zum anderen ermutigten diese sprunghaften Fortschritte zu anderen Projekten der „Big Sciences“, etwa in Deutschland zum Kontinentalen Tiefbohrprogramm (KTb). Nichts ist bekanntlich erfolgreicher als der Erfolg! Das Tiefseebohrprogramm erweiterte sich 1975 zur „International Phase of Ocean Drilling“ (IPOD) mit 5 formellen Nicht-US-Mitgliedern. Neben Frankreich, Japan, der UdSSR und Großbritannien wurde auch die damalige Bundesrepublik Deutschland aufgenommen. Der deutsche „Mitgliedsbeitrag“ wurde gemeinsam vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) aufgebracht. Ein „Schwerpunkt-Programm“ der DFG betreute zudem vor allem die Auswertung und Vorbereitung der Bohrungen. Sie tut dies bis heute, so wie das Management der deutschen Teilnahme von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover von Anfang an übernommen worden war.

Damit konnte auf der einen Seite ein besserer weltweiter Zugang zu neuen Ideen und Methoden erreicht werden, die in den USA entwickelt worden waren. Andererseits brachten die neuen Mitglieder außer Geld auch ihre eigenen Ideen in das Projekt ein, das bis 1983 dauerte. Die „Glomar Challenger“ hatte bis dahin rund 600 000 km zurückgelegt und aus

über 1000 Bohrlöchern Bohrkerne mit einer Gesamtlänge von rund 130 km gewonnen. Wer je einmal einen Bohrabschnitt und damit zwei Monate engster Zusammenarbeit auf dem Schiff oder auch Diskussionen in den verschiedenartigsten Gremien dieses Großprojekts mitgemacht hat, wird bestätigen können, daß international wie interdisziplinär ständig neue Türen aufgemacht werden und daß sich der Horizont eines jeden Teilnehmers ungemein weitete: Das Bohrschiff ist ein schwimmendes Forschungslabor und bietet vor allem für Jüngere die Gelegenheit, viel Neues zu lernen. Das Projekt selbst ist daher eine ideale Gelegenheit, „Big Science“ mit der Möglichkeit zu kombinieren, daß sich Einzelne oder kleine Gruppen aktiv einschalten und entfalten können.

Das steigende internationale Interesse an aktiver Teilnahme, die Chance, tiefer bohren zu können, und das wachsende Interesse, in höhere Breiten mit ihren ungünstigsten Wetterbedingungen zu gehen, führten zu neuen Überlegungen. Ein größeres Schiff, die *Joides Resolution* (Abbildung 2), wurde eingesetzt. Seit 1985 fährt sie unter der Flagge des „Ocean Drilling Program“ (ODP). Am ODP sind derzeit insgesamt 20 Nationen beteiligt, denn Kanada und Australien sowie ein Konsortium von 12 europäischen Nationen unter der Schirmherrschaft der European Science Foundation (ESF) kamen zu den alten Nicht-US-Mitgliedern, zunächst noch ohne die später wieder beteiligte UdSSR, hinzu.

Großforschungsprojekte werden derzeit sowohl in den USA wie auch in Deutschland mit Recht kritisch diskutiert. Sie bekommen finanziell wie personell mit den Jahren ihr eigenes Gewicht und drohen dadurch träger zu werden. Manche Beteiligten können sich zudem auch ohne besondere eigene Ideen an den großen Zug hängen – mit seinen meist gut bestückten „Lokomotiven“ und oft wissenschaftlich glänzenden „Lokomotivführern“. Wenn aber dieses Programm schon so lange existiert und dennoch immer neue überraschende Ergebnisse bringt, so ist dies ein Zeichen für eine aktuelle Fragestellung, eine vorbildliche internationale Organisation und wissenschaftliche Zusammenarbeit sowie großer technischer Leistungen. Ich bin deshalb davon überzeugt, daß das Programm über den Herbst 1993 hinaus fortgeführt werden wird, trotz der Konkurrenz mit anderen Großforschungsprojekten und der angespannten Finanzlage – und trotz der komplizierten Verhandlungen mit vielen Nationen.

2 Aktuelle Probleme

Derzeit sollen vor allem die *Prozesse* ins Auge gefaßt werden, die die Ozeane und deren Untergrund von der Atmosphäre hinunter und vom Erdmantel herauf beeinflussen. Das tritt zu der fortdauernden und grundlegenden Notwendigkeit, Gesteine und Fossilien zu sammeln sowie das Gefüge und die Geschichte des Untergrunds zu erforschen, hinzu. Eine kleine Auswahl dieser aktuellen Fragen soll im folgenden dargestellt werden.

2.1 Ozeanische Kruste

In Abbildung 1 sind die Vorstellungen zusammengefaßt, die von den Spreizungszentren der Mittelozeanischen Rücken bis zu den Subduktionszonen reichen. Die meisten Fragezeichen finden sich noch dort, wo die sich abkühlende ozeanische Platte unter eine Platte etwa mit kontinentaler Kruste (links) abtaucht. Doch auch die Prozesse unter den Rücken selbst und inmitten der Platten verlangen noch weitere Bohrungen.

Im Indischen Ozean wurde 1987–89 auf vier Bohrabschnitten (Abbildung 8) dieser Frage des Intra-Platten-Vulkanismus nachgegangen. Worum ging es dabei? Aus dem tiefen Erdmantel können Magmenkörper aufquellen, die teilweise über 100 Millionen Jahre hin stationär bleiben (*hot spots*). Sie können bis zum Meeresboden durchstoßen, was sich in nackten oder sedimentbedeckten submarinen oder Insel-Vulkanen äußern kann. Wenn Lithosphärenplatten über solche *hot spots* wandern, können sich ganze Ketten solcher Vulkane bilden. Im Indischen Ozean zieht sich eine solche Kette von der Insel Reunion bis zum Deccan-Plateau im westlichen Indien oder vom Kerguelenplateau (siehe Abbildung 8, Leg. 119–120) über den „90°-Ost-Rücken“ nach Norden bis nach Bengalen hinein. Die Basalte in diesen beiden Reihen werden nach Norden zu, also in Richtung der Bewegung der Lithosphärenplatten, älter. Der Weg des indischen Subkontinents von der Antarktis nach Norden wurde dadurch offenkundig.

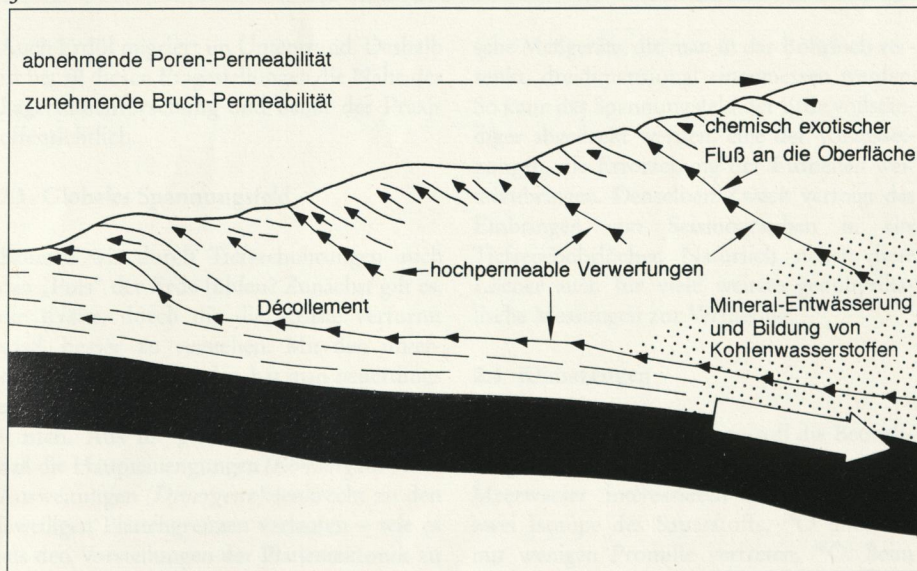
2.2 Zirkulierende Lösungen

Es gibt noch einen anderen Aspekt, der Ozean und Kontinent verbindet. Wie sehen die Lösungen aus, die im Untergrund zirkulieren? Welchen Wegen folgen sie? Bekanntlich sind in den letzten Jahren die heißen *hydrothermalen* Quellen, die an den Mittelozeanischen Rücken austreten, intensiv – auch

2



3



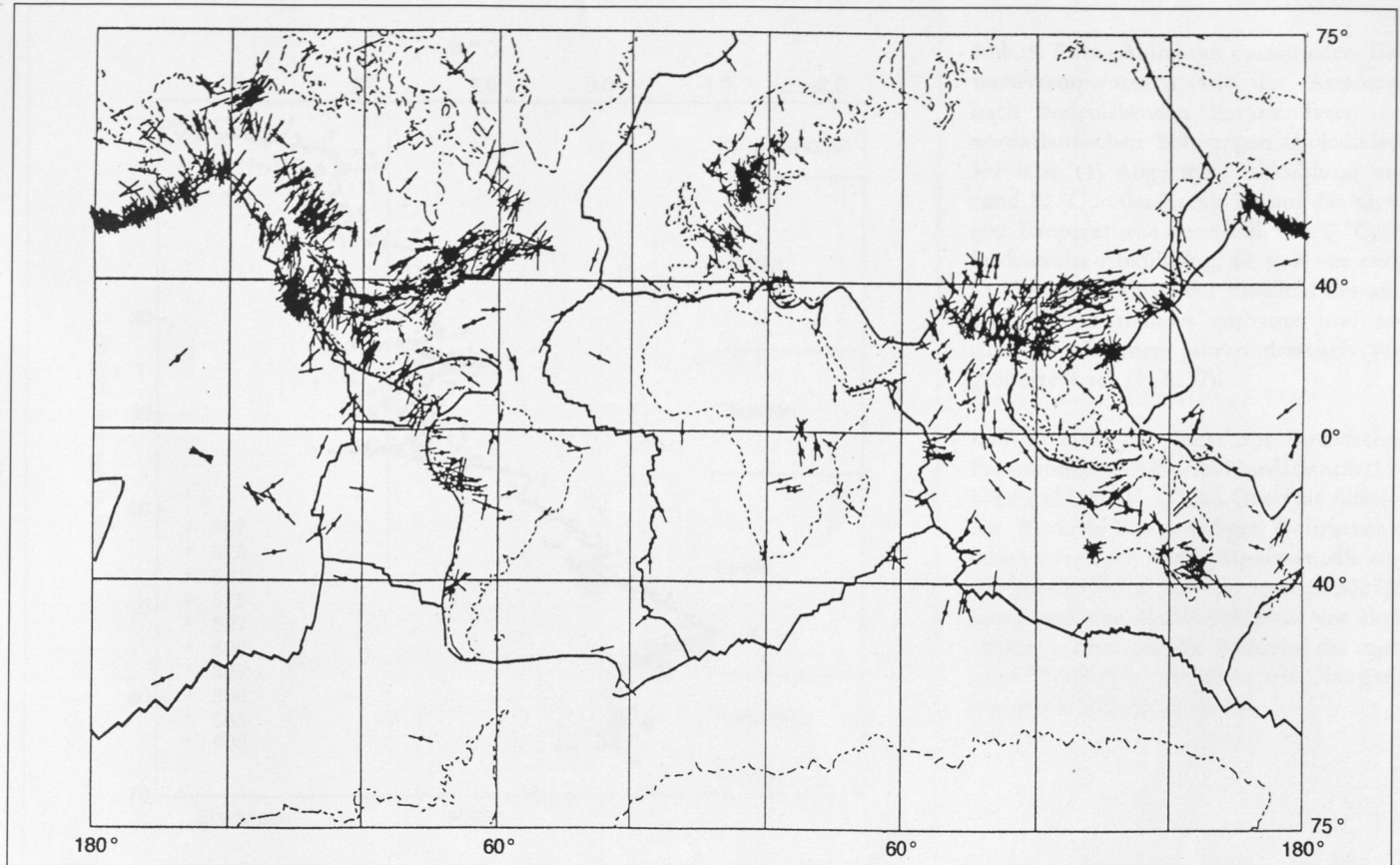
durch Bohrungen – studiert worden. Sie fällen sulfidische und oxidische Erze aus (Abbildung 1), sind aber auch biologisch hochinteressant, nähren sie doch eine spektakuläre Lebewelt, die nicht durch das Licht (also durch Photosynthese) Energie zum Aufbau von Weich- und Hartteilen gewinnt, sondern durch Chemosynthese unter Mitwirkung von Bakterien. Diese Erzlösungen wandern mit

der ozeanischen Kruste bis zur Subduktionszone. Was ist ihr Schicksal? Welche Lösungen zirkulieren in den dort ungemein kompliziert verschuppten Sedimentpaketen? (Abbildung 3) Diese Pakete markieren ja den Anfang der Bildung neuer kontinentaler Kruste. Damit stellt sich uns die Frage: Sind solche Lösungen also das „Blut“ des Festlandes, auf dem wir alle leben?

Abb. 2. Das Tiefseebohrschiff *Joides Resolution* mit Bohrturm und Hubschrauber-Landedeck (nach [2]).

Abb. 3. An einer Subduktionszone (siehe Abbildung 1, links) werden die Gesteine der unterfahrenen Platte stark verformt. In den dabei aufreißenden Spalten und Verwerfungen zirkulieren Lösungen. Sie rühren zunächst vom Zusammenpressen, von der Konsolidierung der marinen Sedimente her, dann vom Entwässern von Mineralen unter höheren Drücken und Temperaturen. Dabei können sich auch Kohlenwasserstoffe bilden. Die unterschiedlichsten Lösungsgenossen werden nach oben befördert. Die Abscherungsfläche (*Décollement*) ist die Obergrenze der nach rechts abtauchenden Platte (Darstellung nach [3], S. 269).

Abb. 4. Weltkarte mit Stressdaten. Sie stammen aus direkten Messungen im Untergrund, aus Bohrloch-Wandausbrüchen und aus der Analyse des Mechanismus von Erdbeben (nach [1], S. 89).



Auch Erdöl migriert im Untergrund. Deshalb ist bei all diesen Fragestellungen die Nähe der Lagerstättenforschung und damit der Praxis offensichtlich.

2.3 Globales Spannungsfeld

Können wir durch Tiefseebohrungen auch den „Puls“ der Erde fühlen? Zunächst gilt es, die Kräfte, durch die die Kruste verformt wird, besser zu verstehen. Mit den unterschiedlichsten Methoden hat man neuerdings eine globale Stress-Karte (Abbildung 4) entworfen. Aus ihr geht zum Beispiel hervor, daß die Haupteinengungen (*Konvergenz*) und Ausweitungen (*Divergenz*) senkrecht zu den jeweiligen Plattengrenzen verlaufen – wie es aus den Vorstellungen der Plattentektonik zu erwarten war. Doch die Ozeane selbst sind in der Karte bisher noch weitgehend weiße Flecken. Was ist zu tun? Ein Bohrloch ist zunächst kreisrund. Durch den Gebirgsdruck verformt es sich aber so, wie wenn man einen Reifen zusammendrückt. Er weitet sich senkrecht zur Hauptdruckrichtung aus. Im Bohrloch kann sich dies in Gesteinsausbrüchen und Spalten äußern.

Diese Veränderungen können durch akusti-

sche Meßgeräte, die man in das Bohrloch versenkt, dreidimensional eingemessen werden. So kann das Spannungsfeld der Erde vollständiger abgedeckt werden, eine der Voraussetzungen, die Erforschung der Erdbeben weiterzubringen. Denselben Zweck verfolgt das Einbringen von Seismographen in alte Tiefsee-Bohrlöcher. Natürlich stehen diese Löcher auch für viele weitere geophysikalische Messungen zur Verfügung.

2.4 Klimazeugen

Von den endogenen Kräften soll die Betrachtung nun zu den exogenen Kräften führen. Im Meerwasser interessieren im wesentlichen zwei Isotope des Sauerstoffs, ^{16}O und, mit nur wenigen Promille vertreten, ^{18}O . Beim Einbau des Sauerstoffs in die aus CaCO_3 bestehenden Kalkschalen mariner Organismen wird bei höheren Temperaturen ^{16}O bevorzugt (der „Delta- ^{18}O -Wert“ wird, wie in Abbildung 5 gezeigt, kleiner). Das Umgekehrte gilt für niedrige Wassertemperaturen. In Tiefseekernen wurden bodenlebende Einzeller (Foraminiferen) auf diese Isotopenverhältnisse in den Schalen untersucht. Die Temperatur der ozeanischen Tiefenwässer nahm von der Kreidezeit bis heute um rund 10°C ab.

Seit rund 35 Millionen Jahren, seit dem Oligozän, kommt aber noch ein zweiter Faktor ins Spiel: das Festlandeis (Abbildung 5). Es speichert Niederschläge, die letztlich dem Meerwasser entzogen werden. Bei dessen Verdunstung werden indessen ^{16}O -Moleküle bevorzugt entnommen. Im Meerwasser reichert sich deshalb ^{18}O relativ an, im Festlandeis umgekehrt das ^{16}O . Dies geschah zunächst nur in der Antarktis, seit dem Pleistozän auch auf dem Land um die Arktis herum. Das ist die Situation in den Glazialzeiten. Schmelzen diese Eismassen wieder ab, so verringert sich der relative ^{18}O -Gehalt des Meerwassers wieder: Der „Delta- ^{18}O -Wert“ nimmt daher (Abbildung 6) in den Foraminiferenschalen ab, was Interglaziale (Warmzeiten) anzeigt. Wir leben derzeit in einer solchen.

Eine Spektralanalyse (Abbildung 6) zeigt, daß sich diese Temperaturschwankungen, daß sich also die Wechsel zwischen Glazialen und Interglazialen, in der letzten halben Jahrmillion alle rund 100 000 Jahre eingestellt haben, davor unregelmäßiger. Um die Zeit vor rund einer Million Jahre war offenbar ein Zyklus von 41 000 Jahren vorherrschend. Man kennt die Gründe hierfür noch nicht, sieht aber leicht, daß dabei die sogenannten Milanko-

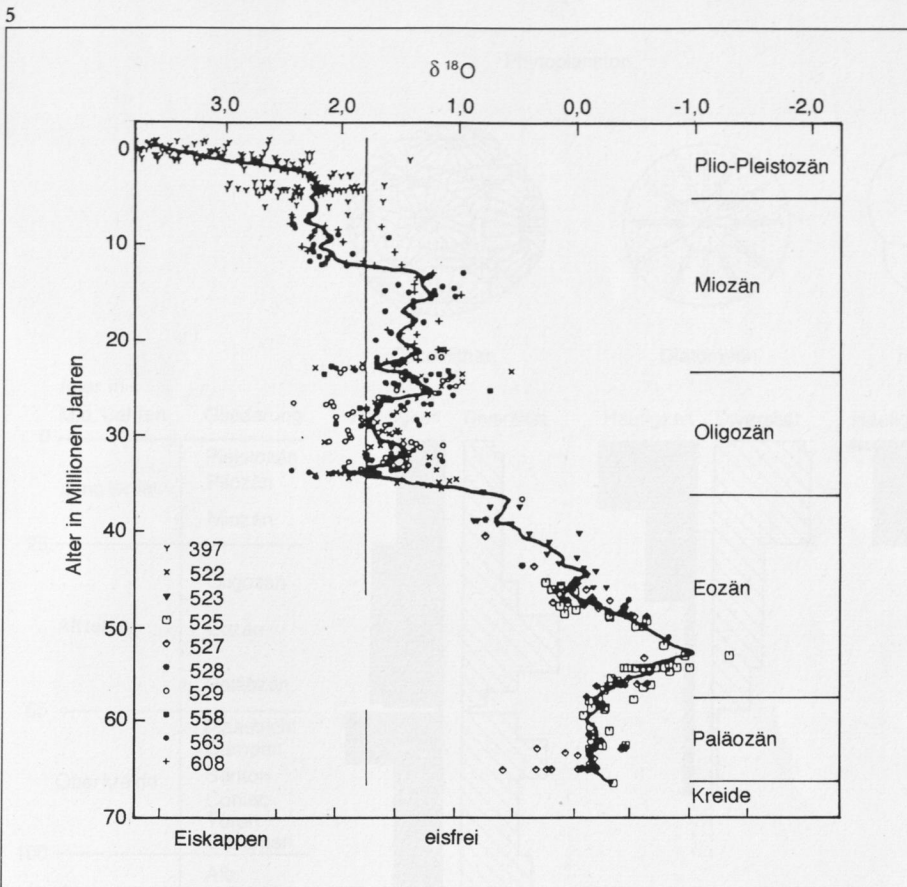
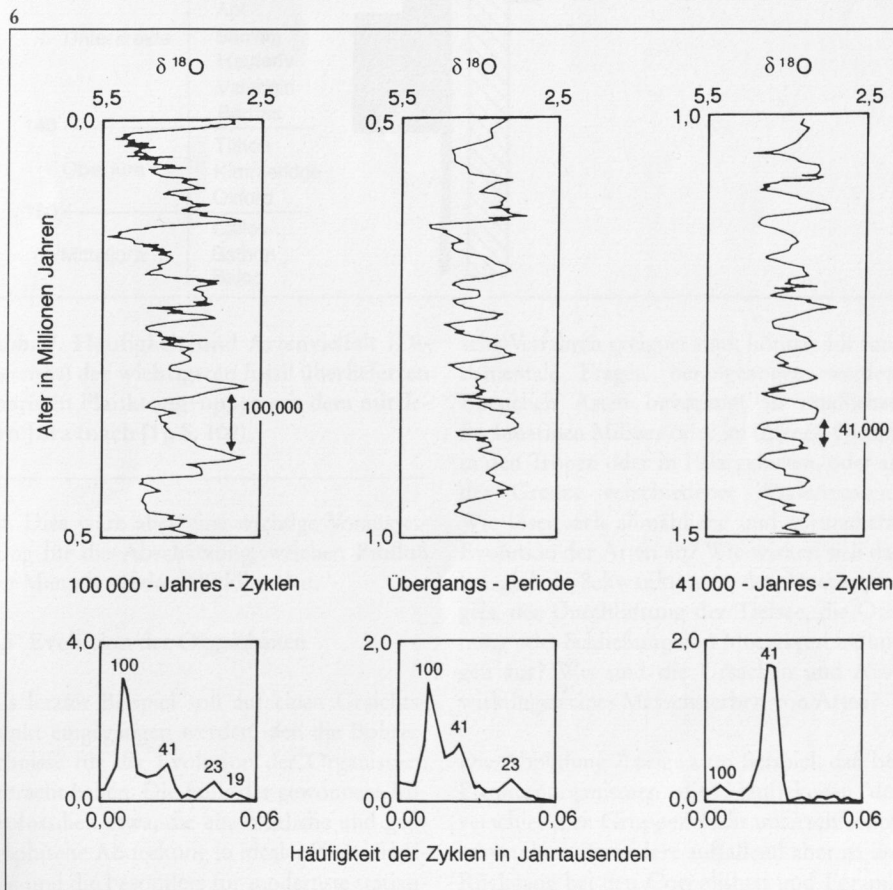


Abb. 5. Entwicklung der ozeanischen Tiefwassertemperaturen seit der Kreidezeit nach bodenlebenden Foraminiferen aus nordatlantischen Bohrungen (Lokalitäten 397–608). (1) Allgemeine Abkühlung von rund 10 °C in der Kreide bis auf die heutigen Temperaturen unterhalb von 0 °C. (2) Stufenweise Abkühlung, als sich vor rund 35 Millionen Jahren der Eisschild des antarktischen Festlandes aufbaute und vor rund 15 Millionen Jahren drastisch vergrößerte (nach [1], S. 37).

Abb. 6. Delta- ^{18}O -Werte aus benthischen Foraminiferenschalen im Nordatlantik (Lokalität 607, 41° N, 33° W). Oben die Abfolge der Werte in den jeweiligen Bohrkernabschnitten; unten Spektralanalysen, die eine 100 000-Jahreszyklizität für die letzten 500 000 Jahre und eine 41 000-Jahreszyklizität vor einer Million Jahren anzeigt. Während des mittleren Pleistozäns (Mitte) ist ein Übergang festzustellen (nach [1], S. 19).



vich-Zyklen im Spiel sein müssen. Danach verändert sich die nur grob kreisförmige Umlaufbahn der Erde um die Sonne zyklisch alle 100 000 Jahre (*Exzentrizität*), die Schiefe der Ekliptik, d. h. die Neigung der Erdscheibe zur Umlaufbahn, zyklisch alle 41 000 Jahre.

Mit dem Einsatz von Kerngeräten, die von der *Joides Resolution* aus betätigt werden und die hydraulisch die obersten, noch weichen Tiefseesedimente herausdrücken, gelingt es zunehmend, völlig kontinuierliche, ungestörte Bohrkern in Regionen mit hohen Sedimentationsgeschwindigkeiten zu gewinnen. Das ist eine der Voraussetzungen, um diese Klimazyklen und auch eingestreute kurze Abkühlungs- oder Erwärmungsphasen noch besser erfassen zu können. Die zeitliche Auflösung erreicht zwar noch nicht Jahreslagen, wie in den Eisbohrkernen der Antarktis oder Grönlands, aber immerhin sind erste Fälle bekannt geworden, in denen wir schon Jahrhunderte oder gar noch kürzere Zeiträume fassen können. Die Hoffnung besteht daher, eventuell einmal sogar die natürliche Klimaentwicklung der kommenden Jahrhunderte voraussagen zu können, ein Szenario also, in dem der Mensch – mit den von ihm erhöhten Anteil an Treibhausgasen – zunächst ausgeklammert

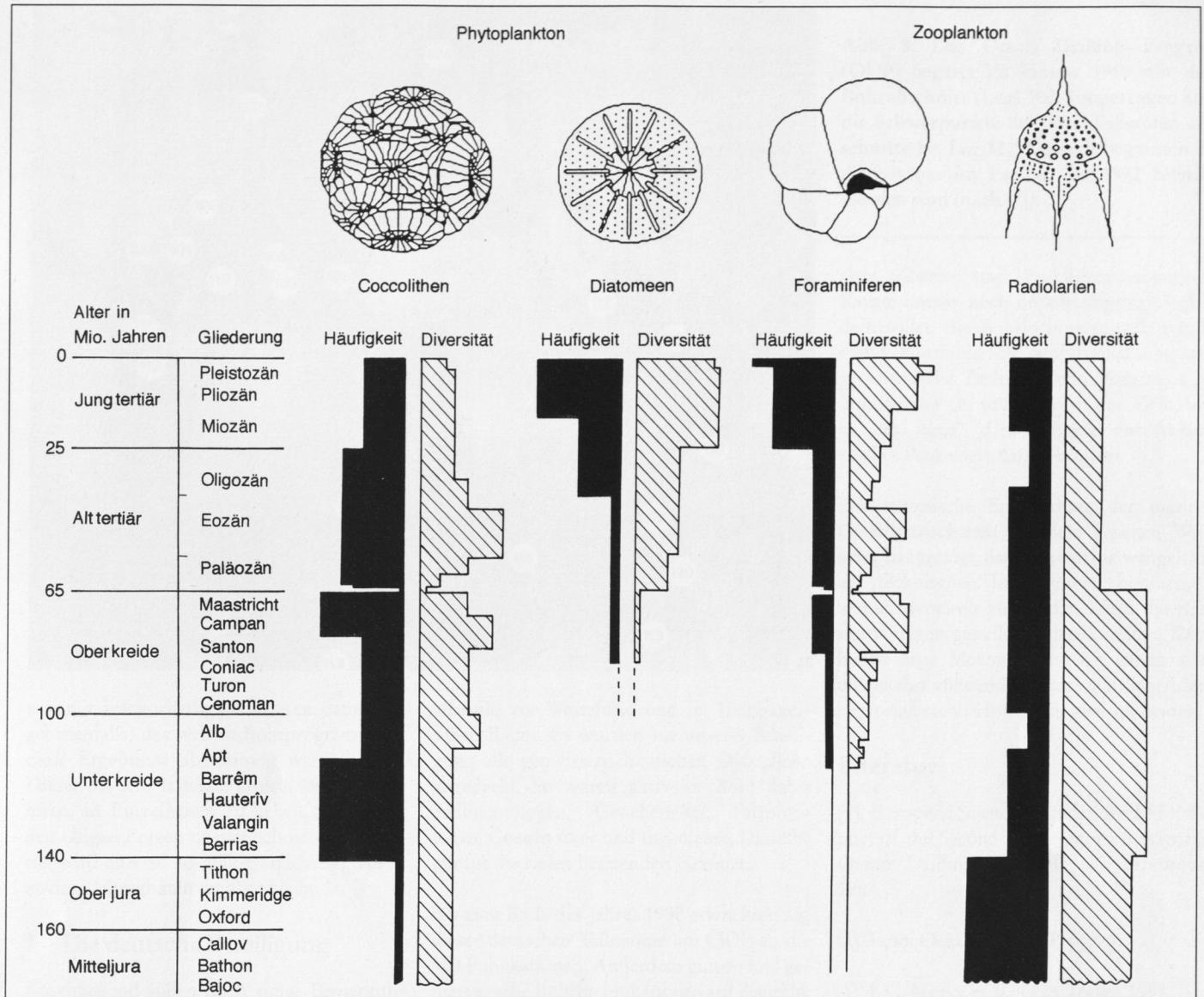


Abb. 7. Häufigkeit und Artenvielfalt (Diversität) der wichtigsten fossil überlieferten marinen Planktongruppen seit dem mittleren Jura (nach [1], S. 109).

ist. Dies wäre aber eine wichtige Voraussetzung für die Abschätzung, welchen Einfluß der Mensch auf das Weltklima hat.

2.5 Evolution der Organismen

Als letztes Beispiel soll auf einen Gesichtspunkt eingegangen werden, den die Bohrergebnisse für die Evolution der Organismen erbracht haben. Die Fülle der gewonnenen Mikrofossilien etwa, die eine zeitliche und geographische Abdeckung in idealer Weise erlauben und die besonders für modernste statisti-

sche Verfahren geeignet sind, können für fundamentale Fragen herangezogen werden: Entstehen Arten bevorzugt in randlichen flachmarinen Milieus oder im offenen Ozean, in den Tropen oder in Polargebieten, oder an der Grenze verschiedener Wassermassen? Wie lösen sich allmähliche und sprunghafte Evolution der Arten ab? Wie wirken sich dabei globale Schwankungen des Meeresspiegels, der Durchlüftung der Tiefsee, die Öffnung oder Schließung von Meeresverbindungen aus? Was sind die Ursachen und Auswirkungen eines Massensterben von Arten?

Die Abbildung 7 zeigt zum Beispiel, daß bei Planktonorganismen die Häufigkeiten der verschiedenen Gruppen recht unterschiedlich schwanken. Besonders auffallend aber ist der Rückgang bei den Coccolithen und Forami-

niferen an der Kreide/Tertiär-Grenze. Die Ursachen, nämlich ob ein Himmelskörper die Erde getroffen hat oder ob verschiedenste Umweltfaktoren weltweit negativ zusammengewirkt haben, ist noch offen. Dabei kommen etwa Meeresspiegelschwankungen, verstärkter Vulkanismus und einsetzende Abkühlung in Frage. Fest steht aber, daß sich nach dieser Katastrophe die Artenvielfalt, etwa bei den genannten Gruppen, aber auch bei den Diatomeen (Kieselalgen), explosionsartig erhöht hat. Warum, so muß man sich aber fragen, geschah dies nicht auch bei den Radiolarien? Diese wenigen Beispiele illustrieren, daß manche lebenslange Forschungsaufgabe im archivierten Bohrmateriale schlummert.

Von den Wissenschaftlern an Bord wird erwartet, daß sie in kürzester Frist ihre Resulta-

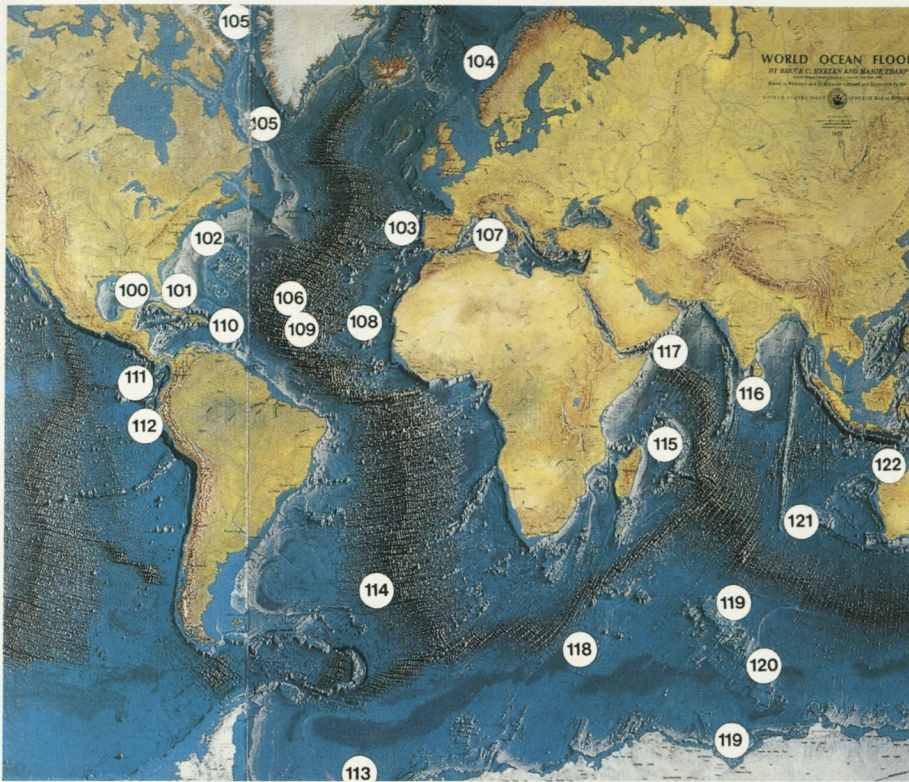


Abb. 8. Das Ocean Drilling Program (ODP) begann im Januar 1985 mit dem Bohrabchnitt (Leg) 100. Eingetragen sind die Schwerpunkte der anschließenden Abschnitte bis Leg 122. Danach begannen die Aktivitäten im Pazifik, die 1992 beendet worden sind (nach [2]).

te zumindest vorläufig publizieren, damit (gegebenenfalls) das weitere Bohrprogramm auf diese Ergebnisse abgestimmt werden kann. Dieser oft sehr lastende Druck verhindert es meist, in Einzelheiten zu gehen, was ja bei den obigen Fragen unerlässlich ist. Das Material wird aber so sorgfältig archiviert, daß es noch in Jahrzehnten greifbar bleibt.

3 Die deutsche Beteiligung

Abschließend sollen noch einige Bemerkungen zur deutschen Beteiligung gemacht werden. In der „International Phase of Ocean Drilling“ (IOPD, 1975–1983) haben 55 Forscher aus der damaligen Bundesrepublik an Bord der *Glomar Challenger* gehen können. Rechnet man zum damaligen Mitgliedsbeitrag von jährlich um die 2,5 Millionen US \$ die Kosten für Vor- und Nachuntersuchungen mit Schiffen und zur Auswertung des Bohrmaterials, so dürfte die Bundesrepublik für dieses Programm insgesamt 100 Millionen DM aufgebracht haben. Allein in den Jahren 1983–1989 nahmen am Ocean Drilling Program (ODP), dem Nachfolgeunternehmen, bei 28 Fahrtabschnitten 57 deutsche Forscher teil. Die Fahrtabschnitte 104, 108 und 122 hatten deutsche Fahrtleiter (Abbildung 8). Man ersieht daraus direkt die deutschen Vorleistungen durch Forschungsschiffe wie die *Meteor*, *Sonne* oder *Polarstern* im Nord-

atlantik, vor Westafrika und im Indopazifischen Raum. Es wurden bei unserer Beteiligung alle geowissenschaftlichen Disziplinen abgedeckt. So waren aktiv an Bord dabei Sedimentologen, Geochemiker, Paläontologen, Geophysiker und Ingenieure. Dasselbe gilt für die vielen beratenden Gremien.

Bis zum Ende des Jahres 1990 erwachsen aus dieser deutschen Teilnahme am ODP an die 500 Publikationen. Außerdem gingen und gehen manche Bohrlochlokationen auf deutsche Vorschläge zurück. So ist die *Joides Resolution* seit Januar 1993 nach Verlassen des Pazifiks wieder in den Atlantik zurückgekehrt, um von Panama aus die bisher geplanten Bohrabchnitte anzugehen. Eine der wesentlichen Fragen wird dabei die frühe Entwicklung eines Aufbrechens von Ozeanen sein, bei denen die beidseitigen „passiven“ Kontinentalränder eine entscheidende Rolle spielen. Hierzu existieren zahlreiche deutsche Vorarbeiten, vor allem für den Nordatlantik.

Das Programm steht also in voller Blüte. Trotzdem sind noch viele Wünsche offen, vor allem, was technische Verbesserungen anbetrifft. Vielerorts überlegt man sich deshalb, eventuell ein zusätzliches, kleineres Bohr- und Experimentierschiff einzusetzen, so etwa den französischen Vorschlag der *Nereis*. So ist beispielsweise das Bohren durch die harte,

aber teilweise stark zerklüftete ozeanische Kruste immer noch unbefriedigend. Außerdem sollen die Bohrlochmessungen zunehmend kontinuierlich geophysikalische und geochemische Parameter von Vorgängen im Untergrund „in situ“, also in der Tiefe, und in „real time“, d. h. während des Ablaufs solcher Prozesse, erfassen können.

Die stürmische Entwicklung der marinen Geowissenschaften seit dem Zweiten Weltkrieg hat gezeigt, daß Fortschritte weitgehend auf technischen Innovationen beruhen, – wenn zuvor mit zündenden Ideen die richtigen Fragen gestellt werden konnten. Doch haben neue Meßmethoden oft genug auch umgekehrt zündende wissenschaftliche Ideen hervorgebracht. Hoffen wir also auf beides!

Literatur

- [1] European Science Foundation (ESF): Report of the Second Conference on Scientific Ocean Drilling (COSOD II), Strasbourg 1987.
 - [2] Foto: Ocean Drilling Program.
 - [3] J. C. Moore et al.: GSA Today, 1991.
 - [4] Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): Mit wissenschaftlichen Tiefseebohrungen ins nächste Jahrhundert. Mitteilung 20 der Senatskommission für Geowiss. Gemeinschaftsforschung, Bonn 1991.
 - [5] H. Beiersdorf: 24 Jahre wissenschaftliches Tiefseebohren; *Die Geowissenschaften* 10 (1992) 307–313.
 - [6] E. Seibold: Das Gedächtnis des Meeres – Boden, Wasser, Leben, Klima. München 1991.
- Anschrift:
Prof. Dr. h. c. mult. Eugen Seibold, Geologisches Institut der Universität, Albertstraße 23b, D(W)-7800 Freiburg.